6К

УДК 621.317.7

В.П. Куценко
[1]Науково-виробниче підприємство «Кварсит»,
Укроборонпром, м. Костянтинівка, Україна
Україна, 85104, м. Костянтинівка, Донецької обл., вул. Шмідта, 20
[2]Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна
Україна, 83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58

Мікрохвильова експертна система контролю температури в скловарильній печі

V.P. Kutsenko
Scientific Production Enterprise of «Kvarsit»,
Ukroboronprom, Konstantinovka, Ukraine
Ukraine, 85104, Konstantinovka, Donetsk obl., Shmidta st, 20
[2] Donetsk National Technical University, MON, Donetsk, Ukraine
Ukraine, 83000, Donetsk, street of Artem, 58

Microwave Expert System Controls the Temperature in the Glass Melting Furnace

В.П. Куценко
[1-] Научно-производственное предприятие «Кварсит»,
Укроборонпром, г. Константиновка, Украина
Украина, 85104, г. Константиновка, Донецкой обл., ул. Шмидта, 20
[2-] Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина
Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

Микроволновая экспертная система контроля температуры в стекловаренной печи

Розроблено мікрохвильова експертна система для автоматизації контролю температури в скловарильній печі із застосуванням власних радіотеплових сигналів від розплаву скломаси і алгоритм оптимального управління процесом. За рахунок застосування чотирьохканального методу вимірювання потужності радіотеплових сигналів з використанням приймальних НВЧ-антен забезпечено точність контролю температури скломаси в межах декількох градусів.
Ключові слова: скло, мікрохвильова експертна система, контроль, температура.

Developed micro-expert system to automate the control of temperature in the melting furnace with its own radio thermal signals from the glass melt and the algorithm for optimal process control. Due to application of fourchannel method of measuring of power of radiothermal signals with the use of waiting rooms of UHP-aerials exactness of control of temperature of glass of mass is provided within the limits of a few degrees.
Key words: glass, microwave expert system, control, temperature.

Разработана микроволновая экспертная система для автоматизации контроля температуры в стекловаренной печи с применением собственных радиотепловых сигналов от расплава стекломассы и алгоритм оптимального управления процессом. За счет применения четырехканального метода измерения мощности радиотепловых сигналов с использованием приемных СВЧ-антенн обеспечена точность контроля температуры стекломассы в пределах нескольких градусов.
Ключевые слова: стекло, микроволновая экспертная система, контроль, температура.

Вступ

Технічні характеристики сучасної техніки значною мірою визначаються технічним рівнем вживаних конструкційних матеріалів. Серед них важливе місце займають термостійкі, радіопрозорі склокристалічні ситали, із яких виробляється продукція на підприємстві [1].

Для виготовлення виробів зі ситалів (скла) з різними заданими властивостями використовуються скловарильні печі. У ній протікають процеси розплаву шихти, одержання скломаси для вироблення з неї виробів. Підтримка заданої температури по всьому об'єму розплаву скломаси в печі є важливим технологічним етапом, від якого залежить якість заготовок, що виготовляються із цієї скломаси [1].

Скловаріння на підприємстві є механізованої і автоматизованої стадією у процесі виробництва ситалу. На сьогодні досягнуті успіхи в контролі і регулюванні режиму роботи скловарильній печі, використовується система контрольно-вимірювальних приладів (КВП) і автоматики, в якої датчиками вимірювання температури є термопари [2].

Однак більш кращих результатів у підвищенні ефективності й надійності системи керування роботою скловарильній печі можна досягти за рахунок використання безконтактних автоматизованих систем керування, створення й застосування автоматизованих систем управління технологічними процесами скловаріння. Основу автоматизованих систем можуть становити мікропроцесорні засоби контролю й керування, персональні електронно-обчислювальні машини. Робота таких систем може ґрунтуватися на взаємодії електромагнітних хвиль різних частотних діапазонів з розплавом шихти [3-5].

Постановка задачі дослідження. Для якісного виробництва склокристалічних виробів із ситалів повинна забезпечуватися стабільність необхідної температури скломаси в печі. Тому метою даної роботи є розробка мікрохвильової експертної системи для автоматизації контролю температури в скловарильній печі із застосуванням власних радіотеплових сигналів від розплаву скломаси [6], [7] і алгоритму оптимального керування процесом.

Основна частина

В основу моделі покладене завдання створити мікрохвильову експертну систему для автоматизації контролю температури в скловарильній печі, яка би забезпечувала підвищення вірогідності контролю температури в різних точках скломаси і надійність роботи даної системи за рахунок застосування в ньому чотирьохканального методу вимірювання з використанням приймальних надвисокочастотних (НВЧ) антен, а також забезпечення оптимального управління подачею газу на газові пальники [2].

Експертна система для автоматизації контролю температури в скловарильній печі складається із 4-х ідентичних радіометричних каналів, кожен із яких включає рупорну приймальну НВЧ-антену, НВЧ автоматичний перемикач (АП), підсилювач високої частоти (ПВЧ), квадратичний детектор (КД), підсилювач низької частоти (ПНЧ), синхронний детектор (СД), фільтр низьких частот (ФНЧ), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікроЕОМ cpu з вбудованим генератором тактової частоти, а також подільник частоти і блок регулювання «БР» подання газу на газові пальники Г1-Г4 скловарильній печі «П».

На рис. 1 представлена функціональна схема чотирьохканальної мікрохвильової експертної системи для автоматизації контролю температури в скловарильній печі.

Перший канал експертної системи включає наступні елементи: приймальну НВЧ-антену X1, підключену до першого входу АП S1, до другого входу якого підключено

еквівалентне навантаження R1, до виходу АП S1 послідовно підключені НВЧ-підсилювач A1, КД U1, ПНЧ A2, СД U2, ФНЧ Z1, АЦП U3 і перший цифровий вхід мікроЕОМ cpu, перший цифровий вихід якої з'єднаний з блоком регулювання подання газу на газові пальникі A9, а другий – з цифровим індикатором P1, ідентичні схеми мають інші радіометричні канали комплексу, входи яких підключені відповідно до приймальних НВЧ-антен X2, X3 і X4, а виходи – до відповідних цифрових входів мікроЕОМ cpu, генератор тактової частоти якої через подільник частоти U13 з'єднаний із керувальними входами синхронних детекторів U5, U8, U11 і автоматичних перемикачів S2, S3 і S4.

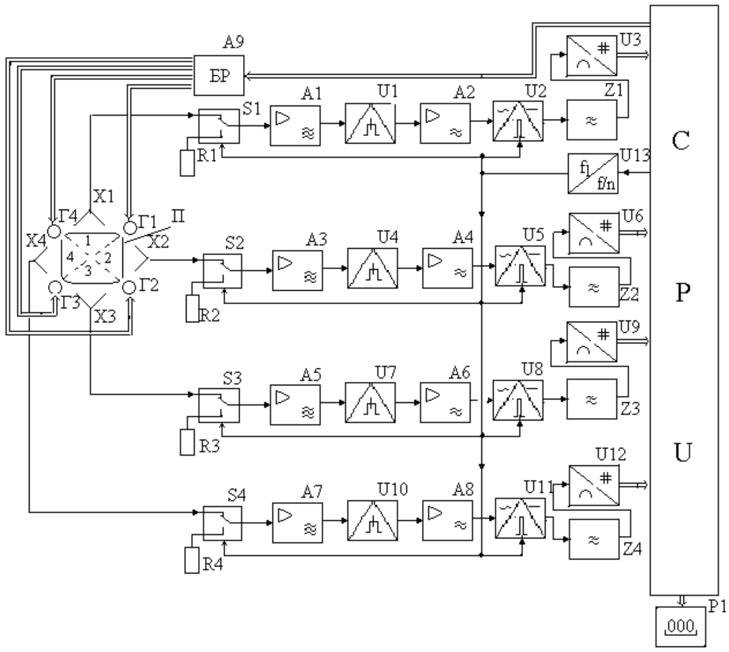


Рисунок 1 – Функціональна схема чотирьохканальної мікрохвильової експертної системи для автоматизації контролю температури в скловарильній печі

Мікрохвильова експертна система для автоматизації контролю температури в скловарильній печі працює наступним чином.

Всі 4-рі ідентичні радіометричні канали системи калібруються під конкретні контрольовані температури в зонах 1-4 скловарильній печі «П» для кожної антени X1-X4. При цьому в пам'ять мікроЕОМ cpu з прив'язкою до режимів вимірів вводяться значення власних шумів НВЧ-антен і еквівалентних навантажень, НВЧ-автоматичних перемикачів і НВЧ-підсилювачів, які підібрані з рівними між собою параметрами, а також необхідні значення контрольованих температур.

Потім експертна система в автоматичному режимі переходить у режим вимірювання температури розплаву скломаси в відповідних зонах газових пальників, радіотеплові випромінювання якої буде пропорційне температурі розплаву скломаси в зоні контролю. Дисперсія вхідного радіотеплового сигналу НВЧ-антени X1 з зони контролю 1 буде [2], [8], [9].

$$\overline{U}_0^{\,2} = \beta_1 S_1 k T_1 \Delta f_1 , \qquad (1)$$

де β_1 – коефіцієнт, що залежить від випромінювальної здатності розплаву скломаси в зоні газового пальника 1; S_1 – чутливість НВЧ-антени X1; T_1 – температура розплаву скломаси в зоні газового пальника 1; Δf_1 – смуга частот високочастотної частини радіометричного каналу 1; k – постійна Больцмана.

Перед початком вимірювання температури скломаси рупорні приймальні НВЧ-антени Х1-Х4 спрямовують через радіопрозорі вікна скловарильній печі «П» на зони полум’я 1-4 відповідних газових пальників Г1-Г4 і вмикають систему. Потужність радіотеплового випромінювання з поверхні скла в зоні газового пальника Г1 дуже мала і порівнянна із рівнем потужності власних шумів приймальної НВЧ-антени Х1. Ці сигнали між собою некорельовані. Тому дисперсію вихідного сигналу антени Х1 можна представити у вигляді суми двох дисперсій:

$$\overline{U}_1^2 = \overline{U}_0^2 + \overline{U}_{Ш1}^2, \qquad (2)$$

де $\overline{U}_1^2$ – дисперсія вихідного сигналу НВЧ-антени Х1 в смузі радіометричного прийому; $\overline{U}_{Ш1}^2$ – дисперсія власних шумів НВЧ-антени Х1.

Еквівалент антени R1 має опір і шуми, рівні опору і шумам НВЧ-антени Х1. Тому дисперсію вихідного сигналу еквівалента R1 виразимо через дисперсію сигналу НВЧ-антени Х1:

$$\overline{U}_E^2 = \overline{U}_{Ш1}^2, \qquad (3)$$

де $\overline{U}_E^2$ – дисперсія шумів еквівалента антени R1.

При зазначеному положенні НВЧ АП S1 сигнал на виході КД U1 можна представити у вигляді:

$$U_2 = S\left(\overline{U}_E^2 + \overline{U}_{Ш2}^2\right), \qquad (4)$$

де S – номінальна крутість перетворення радіометричного каналу до ПНЧ А2; $\overline{U}_{Ш2}^2$ – дисперсія власних шумів на вході радіометричного каналу.

За командою мікроЕОМ подільник частоти U13 переводить НВЧ АП S1 в протилежне положення. Рівень власних шумів радіоприймального каналу при цьому не змінюється завдяки рівності опорів НВЧ-антени Х1 і еквівалента R1. Вихідна напруга КД U1 набуває значення:

$$U_3 = S\left[\left(\overline{U}_0^2 + \overline{U}_{Ш1}^2\right) + \overline{U}_{Ш2}^2\right]. \qquad (5)$$

Підсилювачем А2 низької частоти підсилюється змінна складова послідовності відеоімпульсів (2) і (3) з амплітудою:

$$U_4 = K_1 \frac{U_3 - U_2}{2}, \qquad (6)$$

де K_1 – коефіцієнт підсилення ПНЧ А2.

Змінна напруга з амплітудою (6) випрямляється СД U2, що керується низькочастотною напругою від подільника частоти U13, згладжується ФНЧ Z1 і надходить на АЦП U3, на виході якого формується цифровий код:

$$N_1 = \frac{K_{\Sigma 1}\left(U_3 - U_2\right)}{q_1} = K_{\Sigma 1} \frac{\beta_1 \cdot S_1 k T_1 \Delta f_1}{q_1}, \qquad (7)$$

де $K_{\Sigma 1}$ – результуючий коефіцієнт перетворення різниці напруги (6) у код; q_1 – крок квантування АЦП U3.

Код N_1 вводиться в мікроЕОМ, і запам’ятовується.

Одночасно в кожному з останніх 3-х ідентичних радіометричних каналів експертної системи здійснюється контроль температури скломаси в відповідних зонах 1-4 скловарильній печі «П» наступним чином. Радіотеплові випромінювання від розплаву скломаси приймаються НВЧ-антенами Х2, Х3, Х4 і надходять відповідно на перші входи НВЧ АП S2, S3 і S4.

Після перетворення на виході кожного каналу формується відповідний цифровий код: $N_2 = K_{\Sigma 2}\frac{\beta_2 \cdot S_2 k T_2 \Delta f_2}{q_2}$, $N_3 = K_{\Sigma 3}\frac{\beta_3 \cdot S_3 k T_3 \Delta f_3}{q_3}$, $N_4 = K_{\Sigma 4}\frac{\beta_4 \cdot S_4 k T_4 \Delta f_4}{q_4}$. Оскільки кожні значення величин $K_{\Sigma i}$, β_i, S_i, Δf_i для всіх 4-х каналів чотирьохканального експертної системи для автоматизації контролю температури в скловарильній печі рівні між собою, те цифрові коди будуть пропорційні вимірюваної температури скломаси у відповідних зонах печі.

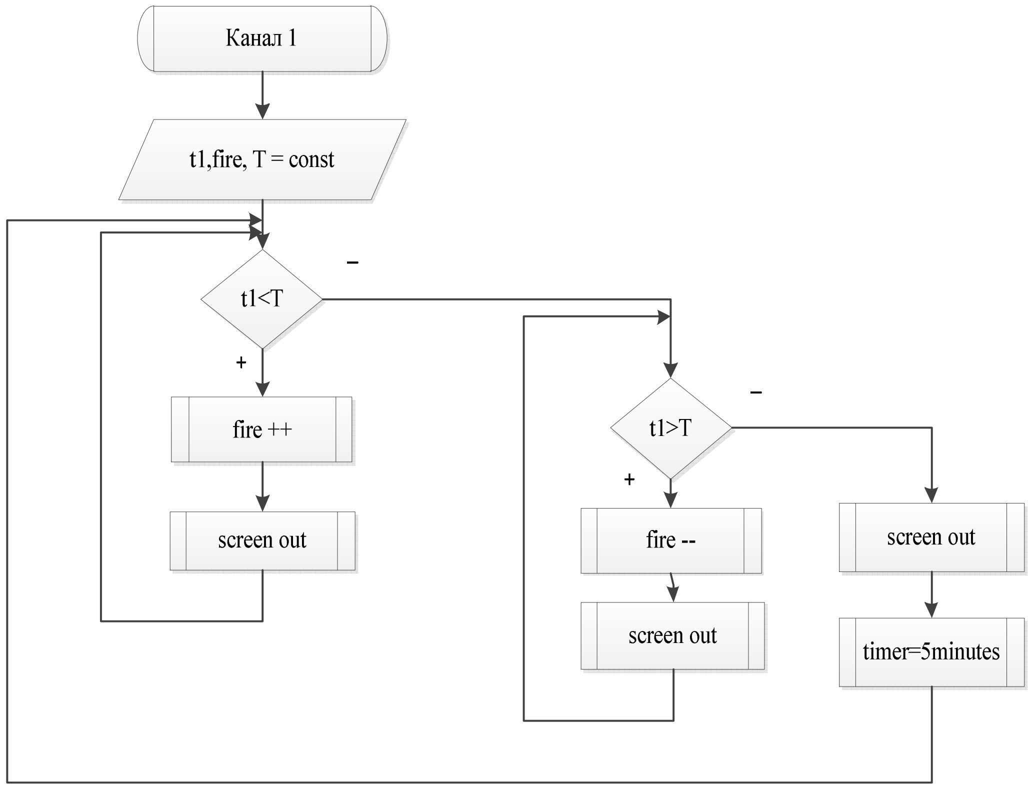


Рисунок 2 – Алгоритм оптимального керування процесом контролю температури в скловарильній печі на прикладі 1-го каналу мікрохвильової експертної системи

Умовні позначки:

t1 – значення вимірюваної температури;
fire – регулювання полум’я пальника;
fire++ – збільшення подачі газу на пальник;
fire-- – зменшення подачі газу на пальник;
T=const – постійні значення температури;
screen out – вивід даних для візуального представлення;
timer=5minutes – у плині 5 хвилин система не виробляє ніяких вимірювань.

За програмою, введеною в мікроЕОМ, значення вимірюваної температури скломаси у відповідних зонах 1-4 скловарильній печі «П» порівнюються з значеннями контрольованої температури, що введені в пам’ять мікроЕОМ cpu. У результаті виробляються цифрові коди, які подаються через блок регулювання на відповідні виконавчі пристрої газових пальників для збільшення або зменшення подачі газу й підтримки, таким чином, необхідної температури скломаси у всіх зонах скловарильній печі.

Завдяки запрограмованому процесу вимірювання і представленню результатів у цифровій формі, здійснюється автоматичне виключення похибок.

Алгоритм оптимального керування процесом контролю температури в скловарильній печі на прикладі 1-го каналу мікрохвильової експертної системи представлений на рис. 2.

Комп'ютерне моделювання і дослідження показали, що у системі для автоматизації контролю температури в скловарильній печі за рахунок застосування чотирьохканального методу вимірювання з використанням приймальних НВЧ-антен забезпечено точність контролю температури скломаси в межах декількох градусів, що підвищує якість сформованих виробів, економічний ефект виробництва і зниження ручної праці.

Висновки

Таким чином запропонована мікрохвильова експертна система для автоматизованого контролю температури в скловарильній печі чутливий до її змін в різних зонах розплаву скломаси.

За рахунок застосування у мікрохвильової експертної системі чотирьохканального методу вимірювання потужності радіотеплових сигналів забезпечено точність контролю температури скломаси в межах декількох градусів.

Система забезпечує підтримку заданої температури по всьому об'єму розплаву скломаси в печі, що сприяє підвищенню якості виробів, які виготовляються із цієї скломаси.

Список літератури

1. Суздальцев Е.И. «Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века» / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика. 2002. – №3. – С. 42-48.
2. Звіт про науково-дослідну роботу (№ гостеми 12-1 від 01.07.12р.) «Розробка алгоритмів оптимального управління системами неруйнівного контролю в умовах технологічних процесів виробництва продукції на ККНВП «Кварсит», Донецький національний технічний університет (ДПІ), кафедра комп'ютеризованих систем управління. – 2012. – 92 с.
3. Викторов В.А. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Теоретические основы радиотеплового контроля материалов / [Куценко В.П., Скрипник Ю.А., Трегубов Н.Ф., Шевченко К.Л., Яненко А.Ф.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Вип. 13 (121). – Донецьк.: Лебідь, 2007. – С. 213-219.
5. Патент на корисну модель №18320 (Україна),. Спосіб вимірювання енергетичного спектра слабких радіовипромінювань / [Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л., Яненко О.П.] – № u200603339; Заявл. 28.03.2006; Опубл. 15.11.2006; Бюл. № 11.
6. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля материалов / С. В. Мищенко, Н.А. Малков. – Тамбов : Изд. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – 127 с.
7. Головко Д.Б. Сверхвысокочастотные методы и средства измерения физических величин: Учебное пособие / Д.Б. Головко, Ю.А. Скрипник , А.Ф. Яненко. – К. : Лебедь. – 2003. – С. 72-74
8. Куценко В.П. Радіометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів / [Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л., Яненко О.П.]. – Донецьк : ІПШІ «Наука і освіта», 2012. – 348 с.
9. Куценко В.П. Методы и средства сверхвысокочастотной радиометрии / [Куценко В.П., Скрипник Ю.А., Трегубов Н.Ф., Шевченко К.Л., Яненко А.Ф.]. – Донецьк: ІПШІ «Наука і освіта», 2011. – 324 с.

References

1 Syzdalcev E.I. "Radiotransparent, high-heat-resistant materials of the XXI century" // are Refractories and technical ceramics. 2002. №3. - С. 42-48.
2. Report on research work(№12-1 from 01.07.12р.) "Development of algorithms of optimal management of non-destructive control the systems in the conditions of technological processes of production of goods on

SPE "Kvarsit", Donetsk national technical university (DTI), department of computer-assisted control system. - 2012. are 92 p.s
3. Victorov V.A., Lynkin V., Sovlukov A.S. Radio wave measuring of parameters of technological processes. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - p.
4. Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F. Theoretical bases of radiothermal control of materials // Scientific works of the Donetsk national technical university. are Series the "Computing engineering and automation. - 13(121). it is Donetsk.: "Swan", 2007. – S.213-219.
5. Patent on an useful model №18320(Ukraine),. Method of measuring of power spectrum of weak radio of radiations / Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F. – № u200603339; Заявл. 28.03.2006; Опубл. 15.11.2006; Бюл. № 11.
6. Michenko S. V., Malkov N. A. Planning of radio wave(СВЧ) devices of non-destructive control of materials. Tambov: publishing House. State technical university. – 2003. – 127 s.
7. Golovko D.B., Skripnik Yu.A., Yanenko A.F. Super-high-frequency methods and facilities of measuring of physical sizes : train aid. - К.: Swan. – 2003. – S. 72 – 74
8. Kutsenko V.P. Aerophare UHP-control of properties of materials / [Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F.]. is Donetsk: IPSHI «Science and education», 2012. – 348 s.
9. Kutsenko V.P. Methods and facilities of super-high-frequency radiometry / Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F. is Donetsk: IPSHI «Science and education», 2011. – 324 s.

RESUME

V.P. Kutsenko

Microwave Expert System Controls the Temperature in the Glass Melting Furnace

Specifications of modern technology are largely determined by the technical level of construction materials used. Among them, occupy an important place heat-resistant, radio-glass crystalline glass-ceramics.

For the manufacture of glass-ceramics (glass) with a variety of desired properties are used for glass melting furnace. It processes occur melt the charge, producing glass for the production of its products. Maintaining a predetermined temperature throughout the volume of the molten glass in the furnace is an important process step, which affects the quality of preforms produced from this glass.

For high-quality products from the production of glass-crystalline glass-ceramics should be ensured stability required temperature of the glass in the furnace. The aim of this work is to develop a microwave expert system to automate the control of temperature in the furnace with its own radio thermal signals from molten glass, which consists of 4 identical radiometric channels, and an algorithm of optimal process control.

As a result, through the use of an expert system in a microwave method for measuring the four-power radio thermal signals provided by the temperature control precision glass within a few degrees. The system ensures the maintenance of a predetermined temperature over the entire volume of the glass melt in the furnace, which improves the quality of products which are manufactured from this glass.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2014.